

de température d'agglomération, ainsi que d'une composition et d'une teneur de liant plus favorables.

L'effet de la pression d'agglomération sur la résistance des agglomérés a été déterminé. Ces expériences indiquent que la variation de la résistance des briquettes en fonction de la pression n'est pas plus grande que dans l'agglomération classique au brai seul servant de liant. Bien que cette conclusion n'ait pas encore été confirmée pour une marche continue, il semblerait que des presses à volume constant du type à double rouleau, avec tous leurs avantages, puissent être employées pour l'agglomération à chaud de semi-cokes.

Comme pour l'agglomération à chaud du charbon oxydé, les caractéristiques au refroidissement des agglomérés de semi-coke varient avec les dimensions et la forme des agglomérés. L'incorpora-

tion du semi-coke inerte dans l'aggloméré a toutefois comme conséquence une réduction plus graduelle et moins prononcée de résistance après que le maximum a été atteint; cette fois encore il est préférable de charger les agglomérés dans le four de carbonisation avant que le maximum de résistance ait été atteint, afin de conserver la chaleur et d'obtenir un produit carbonisé de haute résistance. Ainsi que l'indique la figure 10, la rapidité d'apparition de la résistance est du même ordre de grandeur qu'avec le charbon oxydé et considérablement plus grande que lorsqu'on effectue une agglomération classique du charbon au brai.

REFERENCES

- (1) Hardy, H., Belg. Pat. 599. 159 (1933).
- (2) Darmont, G., Fuel, 31, 75 (1952).
- (3) Bennett, J.G., J. Inst. Fuel, 14, (78), 175 (1941).
- (4) Thau, A., Colliery Guard, 149, 333, 383 (1934).

ETUDE DE LA SEMI-CARBONISATION PAR FLUIDISATION (1)

par A. PEYTAUVY et P. FOCH

(CERCHAR, Verneuil et Marienau).

I. — OBJET DE NOTRE ETUDE

La semi-carbonisation du charbon, c'est-à-dire sa carbonisation à basse ou moyenne température (2), donne naissance à trois produits essentiels, le semi-coke, le goudron et le gaz. On peut donc se proposer des objectifs très différents selon que l'on met l'accent sur l'un ou sur l'autre.

Personne, à notre connaissance, n'a cherché à réaliser l'opération dans le but essentiel de disposer de gaz. On a pu constater, en effet, que la quantité de gaz produite n'était pas assez importante et souvent sa qualité insuffisante pour que l'opération soit intéressante. Par contre le goudron, comme le semi-coke, peuvent être, selon les cas, considérés comme des produits nobles. Par exemple, une unité importante a été construite à Denver (Etats-Unis) dans le but de récupérer les goudrons contenus dans des charbons à haute teneur en matières volatiles avant d'envoyer ceux-ci à la centrale électrique. Dans ce cas, le produit de valeur est le goudron, et le semi-coke un sous-produit.

Pour nous, le semi-coke est le produit principal parce que nous cherchons à mettre au point un additif destiné à améliorer la qualité des mélanges pour cokeries. Et, dans ce domaine, nous avons plusieurs objectifs que nous allons indiquer rapidement :

a) Bien que les charbons lorrains n'aient pas de bonnes propriétés cokéfiantes, on peut les utiliser dans de très larges proportions (70 à 80 %) pour faire du coke de haut-fourneau en utilisant la technique du pilonnage. Celle-ci améliore beaucoup la cohésion du coke, mais non sa fissuration. On peut agir efficacement sur cette dernière en incorporant au mélange du poussier de coke convenablement broyé. Malheureusement, de telles cokeries ne sont pas autonomes en poussier et doivent en acheter à l'extérieur. Nous avons eu l'occasion de montrer que le semi-coke de fluidisation fabriqué vers 800° avait des propriétés antifissurantes comparables à celles du poussier de coke et pouvait, par conséquent, le remplacer.

b) Sans pilonnage, des charbons à indice de matières volatiles élevé donnent un coke petit, fragile, mais pouvant avoir une cohésion acceptable. On peut parfois améliorer ce coke en ajoutant du semi-coke aux charbons. Nous avons utilisé il y a quelques années à cette fin du semi-coke de four tournant. Nous aurons à revoir la question avec du semi-coke de fluidisation. Les conditions d'emploi seront peut-être différentes de celles du cas précédent. Une étude spéciale sera donc nécessaire.

(1) Travaux effectués par le CERCHAR (Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France). L'exécution des essais, ainsi qu'une part importante des études et du dépouillement des résultats, ont été assurées par MM. Bosschem, Geoffroy et Lahouste, ingénieurs au Cerchar.

(2) Les expressions de basse et haute température sont évidemment conventionnelles. Elles désignent les opérations de carbonisation effectuées aux environs de 500 et 1 000° respectivement. On appellera donc carbonisation à moyenne température, celle qui est effectuée vers 700 ou 800°.

Précisons toutefois que les cokes que l'on peut obtenir ainsi ne sont pas de bons cokes sidérurgiques, mais ils peuvent convenir à d'autres usages industriels.

c) Le semi-coke est également utilisé pour la fabrication de coke domestique à partir de certains charbons du Nord de la France. Dans le procédé Carbolux, qui fonctionne à Bruay depuis 25 ans, on enfourne dans des fours analogues à des fours à coke, mais conduits à moins haute température, un mélange de charbon et de semi-coke de four tournant (15 % de M.V.). Là encore, l'emploi de semi-coke de fluidisation peut être envisagé.

d) Un autre usage du semi-coke, celui-ci en dehors du domaine de la cokerie, est le frittage du minerai de fer pour lequel les sidérurgistes utilisent du poussier de coke. Ce poussier devient de plus en plus rare. Le semi-coke peut probablement le remplacer. L'étude de la qualité et des conditions d'emploi optimales reste à faire, mais il y a là une perspective d'avenir à ne pas négliger.

Il paraît donc probable que les semi-cokes trouveront dans les années qui viennent un marché étendu et c'est pourquoi leur préparation mérite d'être étudiée.

Le seul procédé ayant la sanction d'une longue expérience industrielle est encore le four tournant. Il présente certains inconvénients : faible capacité, extrapolation difficile, charges d'exploitation et d'entretien élevées, température limitée. Il nous a donc paru intéressant de chercher dans une autre voie : la fluidisation.

Il n'est pas inutile de préciser que l'objectif qui nous a été fixé en premier lieu est le remplacement du poussier de coke dans les cokeries pilonnées. Nous nous sommes donc orientés vers une marche à température relativement élevée (800°). Le charbon disponible n'est pas agglutinant, de sorte qu'une oxydation préalable est inutile. Enfin, l'unité industrielle à étudier doit être capable de 10 t/h de semi-coke (3).

Nos essais ont d'abord été effectués à l'échelle 100 kg/h aux laboratoires du Cerchar à Verneuil, puis à l'échelle de 1 t/h à la station Expérimentale de Marienau qui est une usine pilote commune aux Charbonnages de France et à la Sidérurgie.

II. — REVUE DES DIFFÉRENTES SOLUTIONS INDUSTRIELLES POSSIBLES

Il y a bien des manières d'apporter à des fines de charbon la chaleur nécessaire pour les semi-carboniser. Nous avons déjà dit que la plus répandue actuellement était l'emploi d'un four tournant

à chauffage externe. Le chauffage interne ne peut guère être réalisé qu'en fluidisé et non en lit fixe parce que, dans le cas qui nous intéresse, nous traitons des fines et non des grains. Ce chauffage peut être réalisé par combustion partielle (avec air ou oxygène) ou par balayage au moyen de gaz chauds (fumées neutres ou gaz de production recyclé). Une autre solution consisterait à fluidiser avec de la vapeur plus ou moins préchauffée, le supplément de chaleur nécessaire étant apporté par chauffage externe du réacteur.

Il faut citer enfin, pour être complet, un mode de chauffage interne qui ne met pas nécessairement en jeu le phénomène de fluidisation, c'est le chauffage par contact avec un corps solide chaud, coke, semi-coke ou galets réfractaires.

Nous allons évoquer les avantages et inconvénients de ces différentes méthodes afin de justifier la voie dans laquelle nous nous sommes engagés.

A) Four tournant.

Nous avons utilisé cette technique qui est connue en France depuis au moins 25 ans. Le four se compose essentiellement de deux tubes métalliques superposés dans lesquels chemine le charbon. Des fumées produites par une ligne de brûleurs chauffent extérieurement le tube inférieur, puis intérieurement le tube supérieur. Le charbon est donc préchauffé jusqu'à 300° dans ce dernier par contact avec les fumées, puis carbonisé dans le tube inférieur.

Ce système est donc caractérisé par :

— Une loi de montée en température relativement lente. Il faut en effet 15 à 20 minutes pour porter le charbon de 300 à 550°.

— Le dégagement d'un gaz propre, c'est-à-dire non dilué par des gaz non combustibles, contrairement à ce qui se passe dans la plupart des procédés par chauffage interne. Ce gaz a un P.C.S. de l'ordre de 7 000 kcal/m³.

— L'impossibilité de porter le semi-coke à une température de plus de 550° (ce qui correspond à un indice de matières volatiles moyen d'environ 15 %) sous peine d'entraîner le fluage du tube inférieur. L'emploi d'aciers spéciaux permettrait de repousser assez largement cette limite, mais leur prix est prohibitif.

Ajoutons que les unités que nous connaissons sont capables de produire 1 à 2 t/h de semi-coke, alors que nous voulons aboutir à des unités 10 fois plus puissantes. Or, l'extrapolation des fours tournants pose des problèmes thermiques et mécaniques très compliqués.

B) Chauffage interne à l'air.

La chaleur est apportée par combustion partielle du charbon dans l'air utilisé pour la fluidisation.

(3) Il va sans dire que ces conditions ne valent que pour la première étude. Elles pourront être différentes pour les problèmes qui nous seront posés par la suite.

Les avantages du système sont les suivants :

— L'installation est d'une grande simplicité et la conduite du four facile.

— La température de carbonisation se règle aisément par action sur le rapport air/charbon. Nous savons que ce point est très important parce que, dans le cas particulier des antifissurants pour cokeries pilonnées, le semi-coke fait à 800° est très supérieur à celui fabriqué à 500°.

Par contre :

— Le gaz est mélangé à l'azote de l'air de sorte que son P.C.S. est de l'ordre de 1 300 kcal/m³.

— On peut craindre que le goudron ne soit oxydé et par conséquent dévalué. Il ne s'agit d'ailleurs là que d'une hypothèse, aucune étude n'ayant encore permis de trancher cette question.

— Le gaz entraîne des poussières très fines qui rendent difficiles la condensation et la décantation des goudrons. Cette difficulté est d'ailleurs inhérente aux procédés de fluidisation.

C) Chauffage interne à l'oxygène.

L'avantage de ce procédé sur le précédent est de sauvegarder la qualité du gaz qui n'est plus alors dilué par de l'azote. Son inconvénient réside dans le prix de l'oxygène (4). Il est pratiquement prohibitif.

D) Chauffage interne aux fumées neutres.

La chaleur provient, dans ce cas, de la chaleur sensible des fumées obtenues en brûlant, dans une chambre de combustion sous pression, un gaz combustible quelconque. On évite ainsi à coup sûr une oxydation du goudron et, bien entendu, la combustion de la fraction de charbon nécessaire pour fournir la chaleur de réaction (environ 5 %). Aucun essai n'ayant encore été fait sur l'oxydation éventuelle du goudron, il n'est nullement sûr que le premier avantage soit à considérer. Le second conserve sa valeur.

Malheureusement, le gaz est inutilisable (moins de 500 kcal/m³). Par ailleurs, la chaleur sensible apportée par 1 m³ de fumées étant très inférieure à la chaleur libérée par la quantité de combustible brûlé par 1 m³ d'air, on est conduit à des débits de gaz élevés, donc à des appareils grands et chers.

E) Chauffage interne par gaz recyclé.

L'intérêt de ce procédé est de conserver la qualité du gaz produit et accessoirement d'éviter la combustion partielle du semi-coke.

Il y a malheureusement une grosse difficulté technologique : Il faut fournir au gaz de production recyclé la chaleur qu'il cèdera au lit fluidisé. Ce gaz doit être porté à haute température (met-

tons 1 400°), ce qui implique l'emploi de régénérateurs. Or, ces appareils exigent que le gaz soit totalement dépoussiéré et il n'est guère possible de dépoussiérer totalement un gaz sans le refroidir. Il en résulte alors une perte thermique trop importante pour que le procédé puisse être retenu.

F) Chauffage externe.

On peut envisager d'effectuer le chauffage externe d'un lit fluidisé. Le gaz contient alors peu de constituants inertes. La fluidisation peut être effectuée avec de la vapeur ou du gaz (éventuellement préchauffés).

L'inconvénient du chauffage externe réside dans la difficulté qu'il y a à construire de grandes unités. Dans des appareils de fluidisation, le débit croît comme le carré du diamètre, tandis que la surface disponible pour l'échange ne croît que linéairement. Il en résulte qu'on ne peut envisager de chauffage externe que pour de petites unités. On peut tourner la difficulté en disposant des tubes chauffants intérieurs, mais cela risque de troubler la fluidisation elle-même et d'entraîner des difficultés constructives.

En définitive, ce procédé se prête mal à la réalisation de grandes unités industrielles (5).

G) Chauffage interne par corps solide chaud.

L'idée consiste à apporter la chaleur au moyen d'un corps solide réchauffé, appelé thermophore, que l'on met en contact avec le charbon à carboniser. Plusieurs réalisations sont possibles, par exemple :

a) Le thermophore est constitué par des galets réfractaires qu'on réchauffe dans un poêle. Ils sont séparés du semi-coke produit par criblage.

b) Le thermophore est du semi-coke réchauffé dans un appareil distinct, soit au moyen de gaz, soit par combustion partielle. Il est alors mélangé au semi-coke froid, ce qui n'a pas d'inconvénient puisqu'il s'agit de produits de même nature.

c) Le thermophore est constitué par des morceaux de coke réchauffés par combustion partielle. On peut utiliser le coke qui vient d'être défourné d'une batterie de fours à coke, ce qui permet de disposer d'une chaleur pratiquement gratuite. Malheureusement les investissements à prévoir sont importants.

Ces procédés ont fait l'objet d'études aux laboratoires de Verneuil. Ils offrent des possibilités indiscutables, mais aucun à notre connaissance n'est encore passé dans la pratique industrielle. Ajoutons qu'ils n'impliquent pas nécessairement que l'on recoure à la fluidisation (qui devrait être faite

(5) Il est néanmoins employé dans l'unité de Denver. Le chauffage externe semble surtout utilisé dans ce cas pour réduire le volume du gaz produit et, par conséquent, le prix des appareils de condensation. On ne fournit d'ailleurs ainsi qu'une partie de la chaleur, le reste étant produit par combustion partielle du charbon dans l'air soufflé.

(4) Et de la vapeur qu'on injecte avec l'oxygène.

à l'aide de vapeur ou de gaz recyclé), le mélange pouvant être effectué par d'autres moyens.

H) Orientation de nos études.

Plusieurs des procédés énumérés soulèvent des critiques qui condamnent pratiquement leur utilisation industrielle. Ce sont le chauffage interne à l'oxygène qui est trop onéreux, le chauffage interne aux fumées neutres qui conduit à un gaz inutilisable et à des appareils trop grands, le chauffage interne par gaz recyclé qui soulève de grosses difficultés de réalisation et le chauffage externe qui ne se prête pas à l'étude d'unités importantes.

Le chauffage externe par thermophore, avec toutes ses variantes pourrait être envisagé, mais sa mise au point industrielle reste à faire.

Nous n'avons donc plus le choix qu'entre le four tournant et le chauffage interne dans un réacteur soufflé à l'air. Le premier donne un semi-coke dont la qualité n'est pas toujours suffisante et se prête mal à des extrapolations. Le second permet de fabriquer des semi-cokes de caractéristiques très variées et, au moins dans certains cas, de qualité supérieure. Cette raison serait déjà presque suffisante pour faire adopter le procédé. Le principal inconvénient est la qualité relativement mauvaise du gaz produit, mais il n'est pas très grave, ce gaz étant utilisable pour beaucoup de besoins d'usine et ne représentant d'ailleurs pas un poste très important dans le bilan thermique.

C'est en tout cas pour ces raisons que nous nous sommes engagés dans la voie de la fluidisation à l'air. Nous avons également fait, comme on le verra d'ailleurs, des essais avec de l'oxygène et des fumées chaudes.

III. — FOUR 100 Kg/h.

Les études ont été entreprises en 1949 aux laboratoires du Cerchar à Verneuil sur une unité ayant une capacité de 100 kg/h (6). Un schéma est donné sur la figure 1.

A) Description de l'appareil.

Le four proprement dit est constitué par deux parties :

— La chambre de carbonisation proprement dite constituée par un cône surmonté par un tronc de cône. C'est, en principe, dans cette partie que se produit la fluidisation. Une grille peut être placée entre le cône et le tronc de cône auquel se réduit la chambre de carbonisation.

— La chambre de dépôt qui surmonte la chambre de carbonisation. Comme elle est nettement plus large que la chambre de carbonisation, on dispose de la place suffisante pour loger un escape

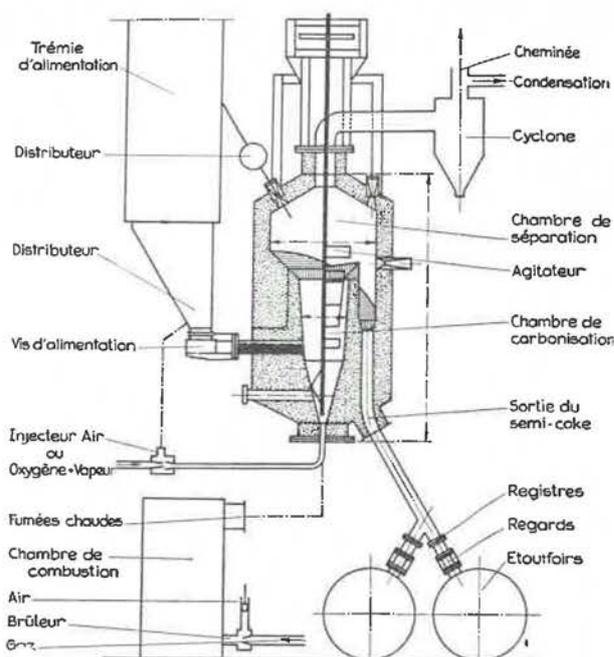


Fig. 1. — Carbonisation fluidisée. — Appareil 100 kg/h.

annulaire permettant le débordement du semi-coke.

Le vent (air, mélange oxygène/vapeur ou fumées chaudes) est soufflé à la partie inférieure de la chambre de carbonisation, c'est-à-dire au sommet du cône.

Le combustible a été amené de plusieurs manières différentes :

— Par une vis d'alimentation.

— Par chute à partir du sommet de l'appareil, l'étanchéité étant assurée par un distributeur rotatif.

— Par un injecteur traversé par le soufflage.

Les deux premières méthodes se sont révélées préférables à la troisième.

Le semi-coke quitte la chambre de carbonisation par débordement et s'écoule dans des étouffoirs. Le gaz est dépoussiéré dans un cyclone, puis traverse une installation de condensation. Un agitateur rotatif était placé dans le four. Son emploi s'est révélé commode avec certains charbons agglutinants.

B) Aperçu sur les essais.

De nombreux essais ont été effectués dans ce four. On a utilisé le plus souvent l'un des deux charbons suivants (7) :

	Cendres sur sec	M.V. sur sec	I.G. AFNOR
La Houve	10	35	0-1
Bruay	10	31	7 1/2

Il est intéressant de noter que le charbon de Bruay est très agglutinant. Il a pu être passé tou-

(6) Il y a eu, en réalité, plusieurs fours de même capacité. Nous ne parlons que du dernier en date.

(7) On a utilisé aussi des qualités intermédiaires.

tefois sans difficultés, à condition d'activer les mouvements de la fluidisation au moyen d'un agitateur rotatif.

Le soufflage a été effectué au moyen d'air, d'oxygène (mélangé à la vapeur) et de fumées chaudes. Dans les deux premiers cas, la chaleur nécessaire était fournie par combustion d'une partie du charbon qui, pour une température du lit de 500°, est d'environ 5 %.

IV. — INSTALLATION 1 t/h.

Cette unité, construite à la Station Expérimentale de Marienau, a été mise en route pour la première fois en 1954. Elle a surtout servi depuis cette époque à l'étude de la technologie du procédé.

A) Description.

Un schéma est donné à la figure 2.

TABLEAU I
ESSAIS EXECUTES AU FOUR 100 kg/h

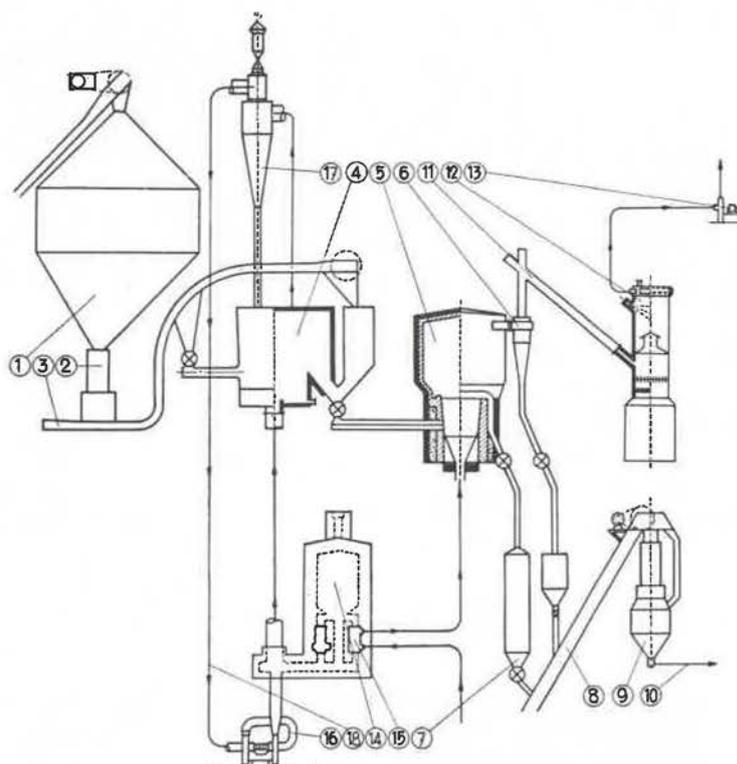
N° de l'essai		84	139	201	233	236	190-197	241
<i>Fluide utilisé</i>		oxygène + vapeur		← Air →			Fumées chaudes	
Air	m ³ /h			47,5	37,5	40		
Fumées	m ³ /h						72,5	72,5
Oxygène	m ³ /h	6,5	10					
Vapeur	m ³ /h	27,8	47,5					
Température		295°	296°	300°	240°	210°	1 000°	1 000°
<i>Charbon traité</i>		La Houve	Bruay	La Houve	Bruay	Bruay	Bruay	Bruay
Débit (humide)	kg/h	93	121	93	99,5	107	71,5	60,5
Température		195°	105°	65°	95°	15°	70°	15°
<i>Température du lit</i>		600°	525°	545°	560°	555°	550°	550°
<i>Bilan matières</i>								
rapporté à 100 kg de charbon sec								
Entrée charbon	kg	100	100	100	100	100		
» air	kg			70	49,5	49,1		
» oxygène	kg	10	11,8					
» vapeur	kg	30	39,3					
Sortie semi-coke	kg	71	71,6	75,5	69,4	71,1	70,3	72,9
» gaz	m ³	17,5	13	56,5	43,2	42,8	116	135
» gaz	kg	19,5	17	72,5	53,3	52,8	155	183,2
P.C.S. du gaz	kcal/m ³	3 545	4 150	877		976	476	230

Quelques types de marches, choisis parmi les plus caractéristiques, figurent dans le tableau I. Tous ces bilans ont été exécutés à des températures du même ordre (entre 500 et 600°). Les rendements en semi-coke sont voisins. La principale différence qui apparaît est dans la qualité du gaz. Le gaz obtenu par soufflage à l'air est pauvre (900 kcal/m³), mais peut néanmoins être utilisé pour des buts industriels. Nous verrons d'ailleurs plus loin que le gaz obtenu dans l'unité 1 t/h est meilleur (8). Le soufflage à l'oxygène donne, comme on pouvait s'y attendre, un gaz ayant un pouvoir calorifique plus élevé parce qu'il ne contient pas d'azote. L'emploi de fumées conduit à un gaz très mauvais et même, pratiquement, inutilisable.

(8) Même dans le four 100 kg/h, on a d'ailleurs souvent obtenu un gaz de 1 200 à 1 500 kcal/m³.

L'installation paraît compliquée parce que nous avons voulu nous donner différentes possibilités expérimentales, mais elle se réduit, au fond, à quelque chose d'assez simple.

L'appareil essentiel est le four proprement dit (repère 5). Il a sensiblement la même forme que celui de la petite installation 100 kg/h. L'alimentation en charbon est faite au moyen d'une vis débouchant sensiblement à mi-hauteur de la charge fluidisée. Le semi-coke s'écoule par débordement dans un refroidisseur (7). Les gaz s'échappent à la partie supérieure de la chambre et sont dépoussiérés à chaud dans un cyclone, puis refroidis dans un laveur (12) où ils sont arrosés au moyen de goudron recyclé. Ce laveur, fonctionnant en deux étages, permet de séparer directement le brai dur et une partie des huiles. Les huiles les



1	Silo à charbon	10	Evacuation du semi-coke par redler
2	Bascule à charbon	11	Tuyauterie de gaz brut
3	Régler d'alimentation	12	Lavoir à goudron
4	Four de préchauffage	13	Extracteur de gaz
5	Four de distillation	14	Chambre de combustion
6	Cyclones	15	Réchauffeur d'air
7	Refroidisseur à semi-coke	16	Ventilateur pour recyclage des fumées
8	Noria	17	Cyclone de circuit de recyclage
9	Bascule à semi-coke	18	Tuyauteries pour gaz recyclés

Fig. 2. — Schéma de l'installation de fluidisation 1 t/h.

plus légères et l'eau sont condensées dans un appareil tubulaire non représenté sur la figure.

Nous nous sommes réservé d'autre part la possibilité d'effectuer un préchauffage du charbon. Cette opération peut se faire en fluidisé dans l'appareil (4) qui est alimenté en fumées chaudes par le foyer (14). Rappelons qu'elle a pour intérêt de réduire la combustion du charbon au cours de la carbonisation proprement dite, ce qui permet d'améliorer le gaz et d'augmenter l'allure du four de fluidisation. Ce préchauffeur peut permettre de réaliser une oxydation du charbon. Enfin, l'air de soufflage peut être préchauffé au moyen d'un échangeur métallique situé dans le foyer (14).

Un deuxième four de fluidisation, analogue au four (5) mais de dimensions différentes, peut être utilisé pour étudier la carbonisation au moyen d'un mélange oxygène-vapeur. Ce système, qui présente un intérêt pratique moins immédiat que la fluidisation à l'air, n'a pas été utilisé.

B) Aperçu sur les essais.

Ceux-ci ont, jusqu'à maintenant, été plus orientés vers l'étude des problèmes technologiques posés par une réalisation industrielle que vers l'éta-

blissement de bilans. En un mot, nous avons d'abord cherché à réaliser une marche régulière et sans incidents en nous réservant d'établir des bilans matières et thermiques quand le fonctionnement de l'installation serait tout à fait correct.

Les principales difficultés rencontrées ont été les suivantes :

a) *Obtenir une alimentation en charbon parfaitement régulière.* Ce problème est compliqué par le fait qu'il faut réaliser simultanément un écoulement régulier, le débit étant réglable à chaque instant et une étanchéité entre la trémie à charbon qui est à la pression atmosphérique et le four qui est à une pression plus élevée. On risque alors des repassages de gaz et de goudron, ce dernier venant se condenser dans les appareils de distribution et entraînant leur obstruction. Il suffit pratiquement d'un dessin correct des trémies et des distributeurs pour résoudre le problème quand on utilise du charbon sec, mais il n'en va pas de même si l'on veut éviter le séchage préalable, ce qui est souhaitable pour l'économie du procédé.

Le problème est un peu plus simple si l'on alimente en humide non pas le four lui-même, mais un sécheur-préchauffeur fonctionnant lui-même en

fluidisé. Dans ce cas en effet, des repassages éventuels n'entraîneraient que de la vapeur d'eau dont la condensation sur du charbon déjà humide est beaucoup moins gênante que celle du goudron. Comme nous allons très probablement nous orienter vers une solution industrielle avec préchauffage, nous pensons pouvoir résoudre ce problème d'alimentation sans grosses difficultés.

b) *Eviter la formation de mâchefer dans le lit.* Dans les premiers essais, nous fonctionnions avec une grille sur laquelle nous avons observé des collages de mâchefers au bout d'une douzaine d'heures de marche. Les mâchefers ont totalement disparu quand nous avons supprimé la grille, le four étant alors terminé à sa partie inférieure par un cône à la pointe duquel arrivait l'air de soufflage. L'explication est simple : l'air débouchant sur la grille a une vitesse insuffisante pour fluidiser les gros grains qui brûlent sur place et atteignent ainsi la température à laquelle les cendres fondent. Si la partie inférieure du four est constituée par un cône, les plus gros grains ne peuvent pas descendre plus bas que le niveau où la vitesse de l'air est suffisante pour les fluidiser. Ne stationnant plus dans le fond du lit, ils restent suffisamment au sein de la masse fluidisée pour ne pas risquer d'atteindre la température de fusion des cendres.

c) *Assurer une récupération correcte des produits contenus dans le gaz.* Le gaz entraîne les particules de semi-coke les plus fines ainsi, bien entendu, que des produits condensables (eau et goudron) à l'état de vapeur. Un refroidissement brutal serait dangereux parce qu'il abattrait à la fois l'eau, l'huile et les poussières. La décantation serait alors difficile. Nous nous sommes donc arrêtés vers une solution consistant à :

— arrêter les particules solides au moyen d'un dépoussiéreur à chaud. Il paraît actuellement établi qu'un dépoussiérage suffisant peut être réalisé au moyen de cyclones convenablement calculés;

— condenser le brai au cours du premier refroidissement à une température bien contrôlée (220 à 240° selon les conditions de marche). Ce brai contient la quasi totalité des poussières ayant échappé aux cyclones;

— abattre ensuite les huiles les plus lourdes au moyen d'un arrosage d'huile recyclée;

— abattre enfin les huiles légères et l'eau. Ces liquides ne contenant pratiquement pas de poussières sont faciles à décanter.

d) *Refroidir le semi-coke.* Il semble que la meilleure méthode consiste dans une fluidisation au moyen de fumée froides avec injection d'eau.

Tous les dispositifs mentionnés ci-dessus sont, au moment où nous écrivons, soit déjà au point, soit en cours d'essai.

L'exécution des bilans est dès maintenant en cours, mais nos résultats ne sont pas encore assez sûrs pour que nous puissions en faire état.

V. — QUALITE DES PRODUITS OBTENUS

A) Semi-coke.

Même quand nous avons travaillé avec des charbons flambants secs (9), nous avons constaté que le semi-coke était un produit fondu et relativement friable. Nous avons pu comparer notamment des semi-cokes produits dans un four tournant et en fluidisé à des températures très voisines (500°) et à partir du même charbon (flambant sec). Les deux produits sont très différents. Dans le premier cas, les grains ont conservé la forme et la structure des grains de charbon. Seule leur couleur a un peu changé : ils sont bruns au lieu de noirs. Les semi-cokes de fluidisation, par contre, se présentent sous la forme de grains boursoufflés, ayant manifestement subi une fusion importante. Par contre, ceux fabriqués à des températures aussi différentes que 500 et 800° ne peuvent pas être distingués à l'œil nu. La différence d'aspect et de structure entre le semi-coke de four tournant et celui de fluidisation ne tient donc pas à la température atteinte, mais à la vitesse de chauffe la température finale étant atteinte dans le premier cas en 30 minutes environ contre moins d'une minute dans le deuxième.

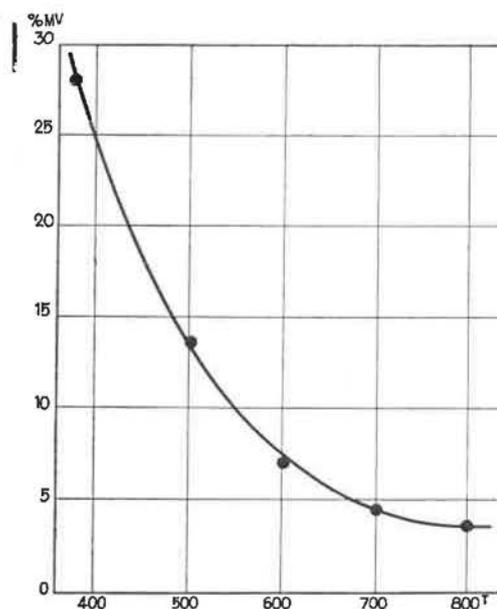


Fig. 3. — Indice de matières volatiles du semi-coke en fonction de la température du four.

Le semi-coke produit par fluidisation est d'une qualité très régulière pour des conditions de marche bien déterminées. L'indice de matières volatiles est défini avec une très bonne précision (de

(9) Matières volatiles sur sec 35 %. — Indice de gonflement au creuset (AFNOR) = 1.

l'ordre de $\pm 0,5$ point) par la température du four. On trouvera à la figure 3 la corrélation que nous avons obtenue expérimentalement.

B) Gaz.

Le gaz obtenu par fluidisation à l'air contient nécessairement une quantité d'azote appréciable. Sa composition dépend de la température à laquelle est conduite le four. Nous avons donné, à la figure 4, un diagramme donnant cette composition en fonction de la température. Ce diagramme doit être regardé comme provisoire, certains paramètres n'ayant pas encore été étudiés. Il semble en particulier que le remplissage du four joue un rôle que nous n'avons pas encore éclairci.

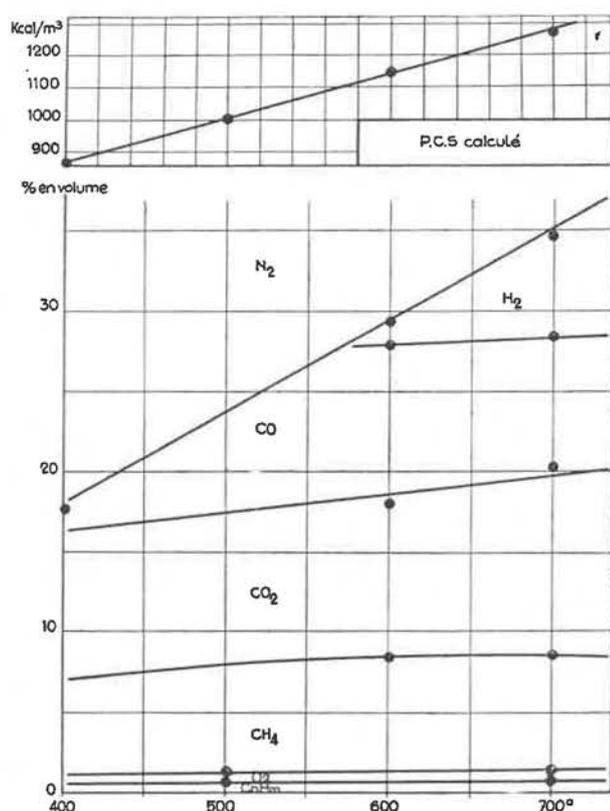


Fig. 4. — Composition du gaz en fonction de la température.

Il faut préciser d'autre part que ce diagramme correspond à des marches pendant lesquelles le charbon est introduit froid et séché (3 à 4 % d'humidité). Il est bien évident que la teneur du gaz en azote et en CO₂ sera d'autant plus élevée qu'il faut fournir plus de chaleur par tonne de charbon sec. On voit par exemple sur le diagramme que, dans une marche à 700°, le gaz contient 65 % d'azote et 11,5 % de CO₂. À la même température, mais en alimentant avec un charbon à 13,5 % d'humidité, nous avons obtenu un gaz à 71 % d'azote et 12,5 % de CO₂. Inversement, un essai fait avec du charbon préchauffé à 220° et de l'air à 445° a donné un gaz à 54 % d'azote et 10 %

de CO₂. Les P.C.S. calculés de ces 3 gaz sont respectivement 1 250, 900 et 2 200 kcal/m³.

C) Goudrons.

Nous sommes encore peu avancés dans cette question parce que nous nous sommes surtout attaqués à des problèmes d'ordre technologique : réaliser un type de condensation simple permettant un fonctionnement industriel. L'étude des goudrons doit être entreprise prochainement.

VI. — ETUDE D'UNE UNITE INDUSTRIELLE

Pour les raisons que nous avons exposées dans le chapitre II (et qui ressortent en grande partie des essais décrits dans les chapitres suivants) nous nous sommes arrêtés, pour l'étude d'une unité industrielle d'une capacité de 10 t/h, au chauffage interne par soufflage à l'air. Ce procédé étant adopté, d'autres choix restent à faire. On peut en effet se proposer d'effectuer un préchauffage préalable du charbon jusqu'à 300° environ, c'est-à-dire jusqu'à son seuil thermique, et de l'air jusqu'à 500°. Un calcul montre que l'on fournirait ainsi, hors de l'appareil de carbonisation, à peu près la moitié de la chaleur nécessaire pour le carboniser à 800°. Par suite, on pourrait carboniser 2 fois plus de charbon avec le même débit d'air, ce qui améliorerait la qualité du gaz et permettrait d'opérer dans des appareils plus petits. Comme nous devons faire une extrapolation de 1 à 10 pour passer de notre unité actuelle à celle que nous considérons comme devant être l'unité industrielle normale, le four de semi-carbonisation pourrait être extrapolé dans un rapport 5, ce qui est évidemment plus simple.

Un autre aspect de la question est d'ordre purement technologique. Nous avons travaillé jusqu'à maintenant avec du charbon séché jusqu'à 3 ou 4 % d'humidité. Le séchage avait été implicitement considéré comme une opération préalable nécessaire. On peut chercher à l'éliminer de deux manières :

a) *En alimentant directement le four à air en charbon humide.* L'essai a été fait une fois pendant une douzaine d'heures. A part quelques petites difficultés pratiques qui ne paraissent pas insolubles, l'installation a fourni une marche régulière. Cette solution conduit à une unité remarquablement simple puisqu'elle ne comporte qu'un appareil. Par contre, le gaz est d'une qualité assez mauvaise, mais il reste néanmoins utilisable (900 kcal/m³). Enfin, l'appareil doit être relativement important puisque la quantité d'air à souffler par tonne de charbon est plus élevée que dans le cas de charbon sec. Cette solution peut donc être envisagée, mais il est probable que la suivante sera meilleure.

b) *En effectuant le séchage en même temps que le préchauffage.* L'alimentation est moins difficile

à réaliser que dans le cas précédent parce qu'on ne court pas le risque d'obstruction par des condensations de goudron. Il est très probable que les deux opérations peuvent être effectuées simultanément et nous allons en entreprendre la vérification. C'est dans ce sens que nous orientons actuellement l'étude de l'unité industrielle.

Enfin, le passage d'un appareil de 1 t/h à une unité produisant 10 t/h de semi-coke, pose des problèmes d'extrapolation qu'il ne faut pas sous-estimer. Nous cherchons, en particulier, à éviter une trop grosse augmentation de la hauteur de la couche, ce qui entraînerait à la fois des appareils exagérément grands et une pression de soufflage très élevée. Cette question est actuellement à l'étude.

Nous avons cherché, dans la présente communication, à faire le point de nos travaux dans leur état actuel.

Nous devons préciser qu'à l'époque à laquelle nous écrivons ces lignes (février 1956) l'installation 1 t/h, sur laquelle ont été faits les derniers essais, doit subir des modifications pour permettre d'y réaliser des marches de longue durée, ce qui n'est pas possible avec l'appareillage dont nous disposons actuellement. Les conclusions formulées doivent donc être considérées comme provisoires jusqu'au moment où nous aurons réalisé des marches véritablement industrielles. S'il est, en effet, improbable que les idées directrices soient notablement modifiées, il se peut que certains détails ne soient plus valables d'ici quelques mois.

(A suivre.)